



Docket No.: 50212-574

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
<b>Tetsufumi TSUZAKI, et al.</b>	:	Confirmation Number: 4962
	:	
Serial No.: 10/772,284	:	Group Art Unit: 3663
	:	
Filed: February 06, 2004	:	Examiner: To be Assigned
	:	
For: <b>RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM</b>		
<b>INCLUDING THE SAME</b>		

**TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS**

Mail Stop CPD  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following applications:

**Japanese Patent Application No. P2003-030791, filed February 7, 2003**  
**Japanese Patent Application No. P2003-417124, filed December 15, 2003**

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:mcw  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: May 27, 2004**

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

10/772,284

50212-574

February 6, 2004

T. Tsuzaki et al.

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 2月 7日

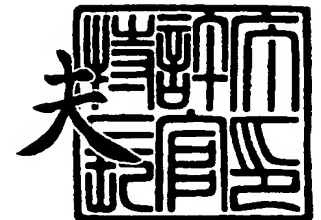
出願番号  
Application Number: 特願2003-030791  
[ST. 10/C]: [JP 2003-030791]

出願人  
Applicant(s): 住友電気工業株式会社

2004年 2月12日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3008716

【書類名】 特許願

【整理番号】 102Y0586

【提出日】 平成15年 2月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35501

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内

【氏名】 津崎 哲文

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内

【氏名】 玉置 忍

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【その他】 国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成 1 4 年度通信・放送機構「トータル光通信技術の研究開発」委託研究，産業活力再生特別措置法第 3 0 条の適用を受けるものの）

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマンアンプおよび光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅する光ファイバと、  
多波長の励起光を前記光ファイバに後方から供給する第 1 の励起光源と、  
前記多波長のうちの最短波長以下の波長の励起光を前記光ファイバに前方から供給する第 2 の励起光源と  
を備え、  
前記多波長の各波長での前記光ファイバの実効長が実際の光ファイバの長さより長くなるように、前記第 1 の励起光源および前記第 2 の励起光源の各励起光の  
パワーが設定されている  
ことを特徴とするラマンアンプ。

【請求項 2】 モニタ手段と、  
前記モニタ手段によりモニタされた複数の所定波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ値に基づいて、前記信号光の各波長それぞれの出力パワーレベルが所定値となるように、前記第 2 の励起光源の励起光のパワーを所定値に制御する制御手段と  
を備えることを特徴とする請求項 1 記載のラマンアンプ。

【請求項 3】 前記制御手段は、入力する信号光の波数が変動すること無く、前記モニタ値が所定のパターン変動したときに、前記第 2 の励起光源から前記光ファイバに供給される励起光のパワーのみを制御することを特徴とする請求項 2 記載のラマンアンプ。

【請求項 4】 前記制御手段は、入力する信号光の波数が変動したときに、前記モニタ値が所定値以上に変動していない信号光のラマン増幅に関与する励起光のパワーを個々に所定値に制御することを特徴とする請求項 2 記載のラマンアンプ。

【請求項 5】 前記制御手段は、前記多波長の信号光の入力パワーレベルに基づいて、前記多波長の信号光それぞれの出力パワーレベルが所定値となるように、前記第 1 の励起光源および前記第 2 の励起光源の各波長の励起光のパワーを

所定値に制御することを特徴とする請求項 1 記載のラマンアンプ。

【請求項 6】 前記モニタ値が所定値であるときのラマン増幅の利得が、それぞれ同じ励起光パワーでのラマン増幅の小信号利得の 5 0 % 以上となるように、前記光ファイバのラマン増幅特性と前記第 1 の励起光源および前記第 2 の励起光源それぞれの励起光パワーとの関係が所定の関係に設定されていることを特徴とする請求項 2 または 5 に記載のラマンアンプ。

【請求項 7】 前記モニタ値が所定値であるときのラマン増幅の利得が、それぞれ同じ励起光パワーでのラマン増幅の小信号利得の 8 0 % 以上であることを特徴とする請求項 6 記載のラマンアンプ。

【請求項 8】 前記光ファイバの信号光入力側に接続された光伝送路を備え、  
前記複数の所定波長の信号光が前記光伝送路を伝搬するのに要する時間が、前記制御手段による前記第 2 の励起光源の制御に要する最短時間以上になるよう、前記光伝送路の長さが設定されている

ことを特徴とする請求項 2 記載のラマンアンプ。

【請求項 9】 前記制御手段は、前記第 2 の励起光源の制御に要する時間を調整する機能を有することを特徴とする請求項 8 記載のラマンアンプ。

【請求項 1 0】 前記光伝送路が前記信号光をラマン増幅することを特徴とする請求項 8 記載のラマンアンプ。

【請求項 1 1】 前記光伝送路に希土類元素添加光ファイバが含まれることを特徴とする請求項 8 記載のラマンアンプ。

【請求項 1 2】 モニタ手段と、  
前記モニタ手段によりモニタされた複数の所定波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ値に基づいて、前記モニタ値が所定値以下の波長に対し、所定パワーの模擬信号光を前記光ファイバに供給する模擬信号光供給手段と  
を備えることを特徴とする請求項 1 記載のラマンアンプ。

【請求項 1 3】 請求項 1 記載のラマンアンプを備え、多波長の信号光を伝送するとともに、その多波長の信号光を前記ラマンアンプにより光増幅することを特徴とする光通信システム。

**【発明の詳細な説明】****【0 0 0 1】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、信号光をラマン増幅するラマンアンプ、および、このラマンアンプを備える光通信システムに関するものである。

**【0 0 0 2】****【従来の技術】**

ラマンアンプは、光増幅媒体である光ファイバに励起光を供給することで、その光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅することができ、光通信システムにおいて信号光が光ファイバ伝送路を伝搬する間に被った損失を補償するのに用いられる。また、光通信システムにおいて光ADMや光XCが用いられていると、光ファイバ伝送路を伝搬する信号光の波数に変動する場合があります、それ故、ラマンアンプに入力する信号光の波数に変動する場合があります。

**【0 0 0 3】**

このようにラマンアンプへ入力する信号光の波数に変動する場合には、ラマンアンプの過渡応答特性が問題となる（例えば非特許文献1および非特許文献2を参照）。すなわち、波長増減設時に、その前後で継続してラマンアンプに入力している信号光に対するラマン増幅の利得は、変動するだけでなく、アンダーシュートまたはオーバーシュートする場合があります。

**【0 0 0 4】**

非特許文献1に記載された技術は、このようなラマンアンプの過渡応答特性の問題を解決することを意図したものである。この文献に記載された技術では、光増幅媒体である光ファイバの後方から励起光を該光ファイバに供給するだけでなく、前方からも該光ファイバに励起光を供給する。そして、ラマンアンプに入力する信号光の波数の変動に応じて、前方から光ファイバに供給する励起光のパワーを調整することで、過渡応答特性の改善を図っている。

**【0 0 0 5】****【非特許文献1】**

菅谷靖、他、「波長増減設時におけるラマン光増幅器の過渡的変動抑圧法」、

2 0 0 2 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、B-1 0 - 1 1 6

【非特許文献 2】

Stuart Gray, "Transient gain dynamics in wide bandwidth discrete Raman amplifiers", OFC2002, ThR2

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記非特許文献 1 に記載された技術では、増減設される信号光波長によっては、過渡応答特性の改善が不十分である場合がある。

【0 0 0 7】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができるラマンアンプ、および、このようなラマンアンプを備える光通信システムを提供することを目的とする。

【0 0 0 8】

【課題を解決するための手段】

本発明に係るラマンアンプは、ラマン増幅する光ファイバと、多波長の励起光を光ファイバに後方から供給する第 1 の励起光源と、多波長のうちの最短波長以下の波長の励起光を光ファイバに前方から供給する第 2 の励起光源とを備え、多波長の各波長での光ファイバの実効長が実際の光ファイバの長さより長くなるように、第 1 の励起光源および第 2 の励起光源の各励起光のパワーが設定されていることを特徴とする。このラマンアンプでは、第 1 の励起光源から出力された多波長の励起光は、後方から光ファイバに供給される。第 2 の励起光源から出力された励起光は前方から光ファイバに供給される。そして、前方から光ファイバに供給される励起光の波長は、後方から光ファイバに供給される多波長の励起光のうちの最短波長以下である。また、励起光の各波長での光ファイバの実効長は、実際の光ファイバの長さより長い。このように構成されるラマンアンプは、増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができる。

【0 0 0 9】

本発明に係るラマンアンプは、モニタ手段と、モニタ手段によりモニタされた



複数の所定波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ値に基づいて、信号光の各波長それぞれの出力パワーレベルが所定値となるように、第 2 の励起光源の励起光のパワーを所定値に制御する制御手段とを備えるのが好適である。ここで、制御手段は、入力する信号光の波数に変動すること無く、モニタ値が所定のパターン変動したときに、第 2 の励起光源から光ファイバに供給される励起光のパワーのみを制御するのが好適である。また、制御手段は、入力する信号光の波数に変動したときに、モニタ値が所定値以上に変動していない信号光のラマン増幅に与する励起光のパワーを個々に所定値に制御するのが好適である。また、制御手段は、多波長の信号光の入力パワーレベルに基づいて、多波長の信号光それぞれの出力パワーレベルが所定値となるように、第 1 の励起光源および第 2 の励起光源の各波長の励起光のパワーを所定値に制御するのが好適である。

#### 【 0 0 1 0 】

本発明に係るラマンアンプは、モニタ値が所定値であるときのラマン増幅の利得が、それぞれ同じ励起光パワーでのラマン増幅の小信号利得の 5 0 % 以上となるように、光ファイバのラマン増幅特性と第 1 の励起光源および第 2 の励起光源それぞれの励起光パワーとの関係が所定の関係に設定されているのが好適である。また、モニタ値が所定値であるときのラマン増幅の利得が、それぞれ同じ励起光パワーでのラマン増幅の小信号利得の 8 0 % 以上であるのが好適である。

#### 【 0 0 1 1 】

本発明に係るラマンアンプは、光ファイバの信号光入力側に接続された光伝送路を備え、複数の所定波長の信号光が光伝送路を伝搬するのに要する時間が、制御手段による第 2 の励起光源の制御に要する最短時間以上になるよう、光伝送路の長さが設定されているのが好適である。ここで、制御手段は、第 2 の励起光源の制御に要する時間を調整する機能を有するのが好適である。また、光伝送路が信号光をラマン増幅するのが好適である。また、光伝送路に希土類元素添加光ファイバが含まれるのが好適である。

#### 【 0 0 1 2 】

本発明に係るラマンアンプは、モニタ手段と、モニタ手段によりモニタされた複数の所定波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ値に基づいて、モニタ値が

所定値以下の波長に対し、所定パワーの模擬信号光を光ファイバに供給する模擬信号光供給手段とを備えるのが好適である。

#### 【0013】

本発明に係る光通信システムは、上記の本発明に係るラマンアンプを備え、多波長の信号光を伝送するとともに、その多波長の信号光をラマンアンプにより光増幅することを特徴とする。この光通信システムは、上記の本発明に係るラマンアンプにより光増幅するものであるから、例えばラマンアンプに入力する信号光の波数が光ADMや光XCにより変動する場合であっても、増減設される信号光波長に依らず容易にラマン増幅の際の過渡応答特性を改善することができる。したがって、この光通信システムの信号光伝送品質は優れたものとなる。

#### 【0014】

##### 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

#### 【0015】

まず、本発明に係るラマンアンプの第1実施形態について説明する。図1は、第1実施形態に係るラマンアンプ100の構成図である。この図に示されるラマンアンプ100は、光入力端101と光出力端102との間に順に、光カップラ111、光カップラ112、ラマン増幅用の光ファイバ110および光カップラ113を備え、また、光カップラ111に接続されたモニタ部121、光カップラ112に接続された励起光源132、光カップラ113に接続された励起光源133、および、制御部140を備える。

#### 【0016】

光カップラ111は、光入力端101に入力する多波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  ( $M$ は2以上の整数)の信号光の一部パワーを分岐して、その分岐した光をモニタ部121へ出力し、残部を光カップラ112へ出力する。モニタ部121は、光カップラ111により分岐された到達した多波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$ の信号光を入力し、各波長の信号光の入力パワーレベルをモニタする。

#### 【0017】

励起光源 132 は、波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を光カップラ 112 へ出力する。光カップラ 112 は、光カップラ 111 より到達した多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  の信号光を光ファイバ 110 へ出力するとともに、励起光源 132 から出力された波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を前方から光ファイバ 110 に供給する。

#### 【0018】

励起光源 133 は、N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  (N は 2 以上の整数) の励起光を光カップラ 113 へ出力する。光カップラ 113 は、光ファイバ 110 から到達した多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  の信号光を光出力端 102 へ出力するとともに、励起光源 133 から出力された N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光を後方から光ファイバ 110 に供給する。

#### 【0019】

ここで、励起光の各波長は、

$$\lambda_{p0} < \lambda_{p1} < \lambda_{p2} < \dots < \lambda_{pN} \quad \dots(1)$$

なる関係がある。すなわち、前方から光ファイバ 110 に供給される励起光の波長  $\lambda_{p0}$  は、後方から光ファイバ 110 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のうちの最短波長以下である。

#### 【0020】

また、後方から光ファイバ 110 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光の各波長において、光ファイバ 110 の実効長  $L_{eff}$  は、光ファイバ 110 の実際の長さ L より長くなるように、励起光源 132, 133 から光ファイバ 110 に供給される波長  $\lambda_{p0} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のパワーが設定されている。ここで、実効長  $L_{eff}$  は、

$$L_{eff} = [1 - \exp(-\alpha L)] / \alpha \quad \dots(2)$$

なる式で表される。ここで、 $\alpha$  は光ファイバ 110 の増幅損失であり、増幅している場合には  $\alpha$  値は 1 より大きい。

#### 【0021】

制御部 140 は、モニタ部 121 による各波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ結果に基づいて、光入力端 101 に入力する多波長の信号光それぞれのパワー変動や波長増減設を検知する。そして、制御部 140 は、その検知結果に基づいて、各波長の信号光の出力パワーレベルが所定値となるように、少なくとも

前方励起用の励起光源 1 3 2 から光ファイバ 1 1 0 に供給される波長  $\lambda_{p0}$  の励起光のパワーを所定値に制御する。また、制御部 1 4 0 は、後方励起用の励起光源 1 3 3 から光ファイバ 1 1 0 に供給される波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  それぞれの励起光のパワーをも所定値に制御するのが好適である。このように構成されるラマンアンプ 1 0 0 は、増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができる。

#### 【0 0 2 2】

制御部 1 4 0 は、入力する信号光の波数が変動すること無く、何れかの波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ値が所定のパターン変動したときに、励起光源 1 3 3 から光ファイバ 1 1 0 に供給される励起光のパワーのみを制御するのが好適である。ここで、「所定のパターン」とは、1 波または複数波が所定の値以上変動したときを意味する。ただし、組合せにより、所定の値は異なる。制御部 1 4 0 は、入力する信号光の波数が変動したときに、入力パワーレベルのモニタ値が所定値以上に変動していない信号光のラマン増幅に関与する波長の励起光のパワーを個々に所定値に制御するのが好適である。また、制御部 1 4 0 は、各波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ値に基づいて、各波長の信号光それぞれの出力パワーレベルが所定値となるように、励起光源 1 3 2, 1 3 3 から光ファイバ 1 1 0 に供給される各波長の励起光のパワーを所定値に制御するのが好適である。

#### 【0 0 2 3】

信号光の入力パワーレベルのモニタ値が所定値であるときのラマン増幅の利得が、同じ励起光パワーでのラマン増幅の小信号利得の 5 0 % 以上（より好適には 8 0 % 以上）となるように、光ファイバ 1 1 0 のラマン増幅特性と励起光源 1 3 2, 1 3 3 から出力される励起光のパワーとの関係が所定の関係に設定されているのが好適である。ここで、所定値とは、ラマンアンプ 1 0 0 が使用される光通信システムにおいて通常使用される信号光パワーレベルを意味する。また、小信号利得とは、信号光の入力パワーレベルが小さくラマン利得が一定である小信号利得領域における一定利得を言う。

#### 【0 0 2 4】

次に、第1実施形態に係るラマンアンプ100の作用・効果について、比較例1および比較例2と対比しつつ説明する。図2は、比較例1のラマンアンプ100Aの構成図である。図3は、比較例2のラマンアンプ100Bの構成図である。比較例1のラマンアンプ100Aでは、励起光源132から出力された励起光は、光カップラ112を経て光ファイバ100の前方のみから光ファイバ100に供給される。比較例2のラマンアンプ100Bでは、励起光源133から出力された励起光は、光カップラ113を経て光ファイバ100の後方のみから光ファイバ100に供給される。

#### 【0025】

図4は、第1実施形態に係るラマンアンプ100の光ファイバ110における信号光パワー分布を示す図である。図5は、比較例1のラマンアンプ100Aの光ファイバ110における信号光パワー分布を示す図である。図6は、比較例2のラマンアンプ100Bの光ファイバ110における信号光パワー分布を示す図である。これらの図で横軸は光ファイバ110の長手方向の位置を示す。ここでは、信号光の波長を1530nm、1570nmおよび1610nmとした。これらを比較して判るように、後方励起（図3、図6）の場合と比較して、前方励起（図2、図5）および双方向励起（図1、図4）の場合の方が、光ファイバ110における信号光パワー分布の波長依存性が小さい。

#### 【0026】

図7は、第1実施形態に係るラマンアンプ100の光ファイバ110における励起光パワー分布を示す図である。図8は、比較例2のラマンアンプ100Bの光ファイバ110における励起光パワー分布を示す図である。図9は、比較例2のラマンアンプ100Bにおいて幾つかの波数の信号光の入力をステップ状にon-offした場合の残留波長の信号光の出力パワーレベルの応答特性を示す図である。ここでは、励起光の波長を1430nmおよび1510nmとし、信号光の波長を1530nmおよび1610nmとした。図7では、波長1430nmの励起光を双方向から光ファイバ110に供給した。後方励起（図3、図8）の場合には、短波長側（1430nm）の励起光と比べて、長波長側（1510nm）の励起光は、光ファイバ110の長手方向に亘ってパワーが存在しており、光フ

ファイバ110の全長に亘って直接に信号光のラマン増幅に寄与していることが判る。この増幅に直接寄与する長さは、上記(2)式で表される実効長 $L_{\text{eff}}$ で近似される。後方励起の場合、波長が短いほど、実効長 $L_{\text{eff}}$ が短いので、図9に示されるように、応答速度が速い。そこで、本実施形態は、短波長の励起光を前方から光ファイバ110に供給することで、波長による実効長の差を抑圧し、応答速度の波長依存性を低減して、制御を簡略化するものである。

#### 【0027】

図10は、比較例2のラマンアンプ100Bの利得スペクトルの変動を示すグラフである。ここでは、励起光の波長を1430nm、1445nm、1460nm、1475nm、1490nmおよび1510nmとし、信号光波長域を1530nm～1610nmとし、各波長の信号光の平均利得を18dBとした。そして、この図には、最短波長1430nmの励起光のパワーを1dB増加させた場合(s+)、最短波長1430nmの励起光のパワーを1dB減少させた場合(s-)、最長波長1510nmの励起光のパワーを1dB増加させた場合(l+)、および、最長波長1510nmの励起光のパワーを1dB減少させた場合(l-)それぞれで、利得スペクトルの変動 $\Delta G$ が示されている。この図から判るように、複数波長の励起光でラマン増幅する場合、励起光の波長が短いほど、全体の利得に与える影響が大きい。そこで、信号光の出力パワーレベルを所定値に制御する際に、特定波長の信号光の増幅に直接寄与する波長の励起光のパワーを調整するのではなく、短波長側の励起光のパワーを制御することにより、利得偏差を過大に大きくすることなく、制御を簡略化することができる。

#### 【0028】

また、入力信号光パワーレベルの変動が波数変動に因る場合、特定波長の信号光の増幅に直接寄与する波長の励起光のパワーのみを所定値に制御することにより、消費電力を抑えることができる。

#### 【0029】

また、ラマンアンプの動作状態を同じ励起光パワーでの小信号利得に近い状態に設定することにより、入力信号光の波数変動に因る出力信号光パワーレベルの変動を抑圧することができる。

## 【0030】

また、ラマンアンプの動作状態を同じ励起光パワーでの小信号利得に遠い状態に設定することにより、励起光パワーを制御すること無く、入力信号光のパワーレベルの変動に因る出力信号光のパワーレベルの変動に対して、出力信号光のパワーレベルを一定に保つ方向に動作することができる。

## 【0031】

図11は、比較例1のラマンアンプ110Aにおける励起光パワーレベル変動に対する出力信号光パワーレベル変動の応答を示す図である。図12は、比較例2のラマンアンプ110Bにおける励起光パワーレベル変動に対する出力信号光パワーレベル変動の応答を示す図である。これらの図から判るように、前方励起の比較例1のラマンアンプ110Aと、後方励起の比較例1のラマンアンプ110Bとでは、応答速度が相違しており、出力信号光パワーレベルが所定値になる迄に要する時間は、後方励起の場合の方が遅い。そこで、第2実施形態の如く、光カップラ111と光ファイバ110との間に遅延手段として光伝送路を挿入するのが好適である。

## 【0032】

次に、本発明に係るラマンアンプの第2実施形態について説明する。図13は、第2実施形態に係るラマンアンプ200の構成図である。この図に示されるラマンアンプ200は、光入力端201と光出力端202との間に順に、光カップラ211、光伝送路250、光カップラ212、ラマン増幅用の光ファイバ210および光カップラ213を備え、また、光カップラ211に接続されたモニタ部221、光カップラ212に接続された励起光源232、光カップラ213に接続された励起光源233、および、制御部240を備える。

## 【0033】

光カップラ211は、光入力端201に入力する多波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  (Mは2以上の整数)の信号光の一部パワーを分岐して、その分岐した光をモニタ部221へ出力し、残部を光伝送路250へ出力する。モニタ部221は、光カップラ211により分岐された到達した多波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$ の信号光を入力し、各波長の信号光の入力パワーレベルをモニタする。

## 【0034】

光伝送路 250 は、光カプラ 211 と光カプラ 212 との間に設けられており、光カプラ 211 より出力された信号光を入力して、この信号光を光カプラ 212 まで伝送する。

## 【0035】

励起光源 232 は、波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を光カプラ 212 へ出力する。光カプラ 212 は、光伝送路 250 より到達した多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  の信号光を光ファイバ 210 へ出力するとともに、励起光源 232 から出力された波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を前方から光ファイバ 210 に供給する。

## 【0036】

励起光源 233 は、N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  (N は 2 以上の整数) の励起光を光カプラ 213 へ出力する。光カプラ 213 は、光ファイバ 210 から到達した多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  の信号光を光出力端 202 へ出力するとともに、励起光源 233 から出力された N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光を後方から光ファイバ 210 に供給する。

## 【0037】

ここで、励起光の各波長は、上記(1)式の関係がある。すなわち、前方から光ファイバ 210 に供給される励起光の波長  $\lambda_{p0}$  は、後方から光ファイバ 210 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のうちの最短波長以下である。

## 【0038】

また、後方から光ファイバ 210 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光の各波長において、光ファイバ 210 の実効長  $L_{eff}$  は、光ファイバ 210 の実際の長さ  $L$  より長くなるように、励起光源 232, 233 から光ファイバ 210 に供給される波長  $\lambda_{p0} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のパワーが設定されている。

## 【0039】

制御部 240 は、モニタ部 221 による各波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ結果に基づいて、光入力端 201 に入力する多波長の信号光それぞれのパワー変動や波長増減設を検知する。そして、制御部 240 は、その検知結果に基づいて、各波長の信号光の出力パワーレベルが所定値となるように、少なくとも前方励起用の励起光源 232 から光ファイバ 210 に供給される波長  $\lambda_{p0}$  の励起



光のパワーを所定値に制御する。また、制御部 240 は、後方励起用の励起光源 233 から光ファイバ 210 に供給される波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  それぞれの励起光のパワーをも所定値に制御するのが好適である。このように構成されるラマンアンプ 200 は、増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができる。

#### 【0040】

特に、第 2 実施形態に係るラマンアンプ 200 は、ラマン増幅用の光ファイバ 210 の信号光入力側に光伝送路 250 を備えていて、信号光が光伝送路 250 を伝搬するのに要する時間が、制御部 240 による励起光源 232 の制御に要する最短時間以上になるよう、光伝送路 250 の長さが設定されている。このような長さの光伝送路 250 が挿入されていることにより、ラマンアンプ特有の制御の遅れの問題を解消することができる。また、制御部 240 は、励起光源 232 の制御に要する時間を調整する機能を有するのが好適である。

#### 【0041】

また、光伝送路 250 も、ラマン増幅用の励起光が供給されて、信号光をラマン増幅するのが好適である。また、光伝送路 250 は、希土類元素添加光ファイバを含み、信号光を光増幅することができるものの好適である。これらの場合には、ラマンアンプ 200 は、高利得を達成することができる。

#### 【0042】

次に、本発明に係るラマンアンプの第 3 実施形態について説明する。図 14 は、第 3 実施形態に係るラマンアンプ 300 の構成図である。この図に示されるラマンアンプ 300 は、光入力端 301 と光出力端 302 との間に順に、光カップラ 311、光伝送路 350、光カップラ 314、光カップラ 312、ラマン増幅用の光ファイバ 310 および光カップラ 313 を備え、また、光カップラ 311 に接続されたモニタ部 321、光カップラ 312 に接続された励起光源 332、光カップラ 313 に接続された励起光源 333、光カップラ 314 に接続された模擬信号光源 334、および、制御部 340 を備える。

#### 【0043】

光カップラ 311 は、光入力端 301 に入力する多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  ( $M$  は 2 以上

の整数) の信号光の一部パワーを分岐して、その分岐した光をモニタ部 321 へ出力し、残部を光伝送路 350 へ出力する。モニタ部 321 は、光カップラ 311 により分岐された到達した多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  の信号光を入力し、各波長の信号光の入力パワーレベルをモニタする。

#### 【0044】

光伝送路 350 は、光カップラ 311 と光カップラ 314 との間に設けられており、光カップラ 311 より出力された信号光を入力して、この信号光を光カップラ 314 まで伝送する。

#### 【0045】

模擬信号光源 334 は、多波長  $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sM}$  の模擬信号光それぞれをパワー調整して出力する。光カップラ 314 は、光伝送路 350 より到達した信号光を光カップラ 312 へ出力するとともに、模擬信号光源 334 から到達した模擬信号光を光カップラ 312 へ出力する。

#### 【0046】

励起光源 332 は、波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を光カップラ 312 へ出力する。光カップラ 312 は、光カップラ 314 より到達した信号光および模擬信号光を光ファイバ 310 へ出力するとともに、励起光源 332 から出力された波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を前方から光ファイバ 310 に供給する。

#### 【0047】

励起光源 333 は、N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  (N は 2 以上の整数) の励起光を光カップラ 313 へ出力する。光カップラ 313 は、光ファイバ 310 から到達した信号光および模擬信号光を光出力端 302 へ出力するとともに、励起光源 333 から出力された N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光を後方から光ファイバ 310 に供給する。

#### 【0048】

ここで、励起光の各波長は、上記(1)式の関係がある。すなわち、前方から光ファイバ 310 に供給される励起光の波長  $\lambda_{p0}$  は、後方から光ファイバ 310 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のうちの最短波長以下である。

#### 【0049】

また、後方から光ファイバ 310 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光の各

波長において、光ファイバ 310 の実効長  $L_{\text{eff}}$  は、光ファイバ 310 の実際の長さ  $L$  より長くなるように、励起光源 332, 333 から光ファイバ 310 に供給される波長  $\lambda_{p0} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のパワーが設定されている。

#### 【0050】

制御部 340 は、モニタ部 321 による各波長の信号光の入力パワーレベルのモニタ結果に基づいて、光入力端 301 に入力する多波長の信号光それぞれのパワー変動や波長増減設を検知する。そして、制御部 340 は、その検知結果に基づいて、各波長の信号光の出力パワーレベルが所定値となるように、少なくとも前方励起用の励起光源 332 から光ファイバ 310 に供給される波長  $\lambda_{p0}$  の励起光のパワーを所定値に制御する。また、制御部 340 は、後方励起用の励起光源 333 から光ファイバ 310 に供給される波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  それぞれの励起光のパワーをも所定値に制御するのが好適である。このように構成されるラマンアンプ 300 は、増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができる。

#### 【0051】

特に、第 3 実施形態に係るラマンアンプ 300 は、モニタ部 321 によりモニタされた各波長の信号光の入力パワーレベルに基づいて、信号光の入力パワーレベルのモニタ値が所定値以下の波長に対し、所定パワーの模擬信号光を光ファイバ 310 に供給する。このようにすることにより、過渡応答特性を更に改善することができる。

#### 【0052】

次に、本発明に係る光通信システムの実施形態について説明する。図 15 は、本実施形態に係る光通信システム 1 の構成図である。この図に示される光通信システム 1 は、光送信装置 10、光中継装置 20、光受信装置 30 および光ファイバ伝送路 41 ~ 44 を備える。光中継装置 20 は、光 ADM 21 を含む。光受信装置 30 は、ラマンアンプ 31 および受信器 32 を含む。このラマンアンプ 31 は、上述した実施形態のラマンアンプ 100, 200 または 300 と同一構成のものである。

#### 【0053】

光送信装置 10 は、多波長の信号光を合波して光ファイバ伝送路 41 に出力する。光中継装置 20 内の光 ADM 21 は、光ファイバ伝送路 41 により伝送されて到達した多波長の信号光を入力して、その多波長の信号光のうち何れかの波長の信号光を光ファイバ伝送路 44 に出力するとともに、その他の波長の信号光を、光ファイバ伝送路 43 により伝送されて到達した信号光とともに、光ファイバ伝送路 42 に出力する。光受信装置 30 は、光ファイバ伝送路 42 により伝送されて到達した多波長の信号光を入力して、この多波長の信号光をラマンアンプ 31 によりラマン増幅して、各波長の信号光を受信器 32 により受信する。

#### 【0054】

この光通信システム 1 では、光ファイバ伝送路 41～43 により伝送されて光受信装置 30 に到達した信号光は、ラマンアンプ 31 にラマン増幅されるので、受信器 32 により高感度で受信され得る。また、光中継装置 20 内の光 ADM 21 が設けられていることから、光受信装置 30 に到達する信号光の波数が変動する場合があるが、ラマンアンプ 31 が本実施形態に係るラマンアンプ 100 等と同一構成のものであることにより、増減設される信号光波長に依らず容易にラマン増幅の際の過渡応答特性を改善することができる。したがって、この光通信システム 1 の信号光伝送品質は優れたものとなる。

#### 【0055】

##### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係るラマンアンプでは、第 1 の励起光源から出力された多波長の励起光は、後方から光ファイバに供給される。第 2 の励起光源から出力された励起光は前方から光ファイバに供給される。そして、前方から光ファイバに供給される励起光の波長は、後方から光ファイバに供給される多波長の励起光のうちの最短波長以下である。また、励起光の各波長での光ファイバの実効長は、実際の光ファイバの長さより長い。このように構成されるラマンアンプは、増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

第 1 実施形態に係るラマンアンプ 1 0 0 の構成図である。

【図 2】

比較例 1 のラマンアンプ 1 0 0 A の構成図である。

【図 3】

比較例 2 のラマンアンプ 1 0 0 B の構成図である。

【図 4】

第 1 実施形態に係るラマンアンプ 1 0 0 の光ファイバ 1 1 0 における信号光パワー分布を示す図である。

【図 5】

比較例 1 のラマンアンプ 1 0 0 A の光ファイバ 1 1 0 における信号光パワー分布を示す図である。

【図 6】

比較例 2 のラマンアンプ 1 0 0 B の光ファイバ 1 1 0 における信号光パワー分布を示す図である。

【図 7】

第 1 実施形態に係るラマンアンプ 1 0 0 の光ファイバ 1 1 0 における励起光パワー分布を示す図である。

【図 8】

比較例 2 のラマンアンプ 1 0 0 B の光ファイバ 1 1 0 における励起光パワー分布を示す図である。

【図 9】

比較例 2 のラマンアンプ 1 0 0 B において幾つかの波数の信号光の入力をステップ状に on-off した場合の残留波長の信号光の出力パワーレベルの応答特性を示す図である。

【図 1 0】

比較例 2 のラマンアンプ 1 0 0 B の利得スペクトルの変動を示すグラフである。

【図 1 1】

比較例 1 のラマンアンプ 1 1 0 A における励起光パワーレベル変動に対する出

力信号光パワーレベル変動の応答を示す図である。

【図 1 2】

比較例 2 のラマンアンプ 1 1 0 B における励起光パワーレベル変動に対する出力信号光パワーレベル変動の応答を示す図である。

【図 1 3】

第 2 実施形態に係るラマンアンプ 2 0 0 の構成図である。

【図 1 4】

第 3 実施形態に係るラマンアンプ 3 0 0 の構成図である。

【図 1 5】

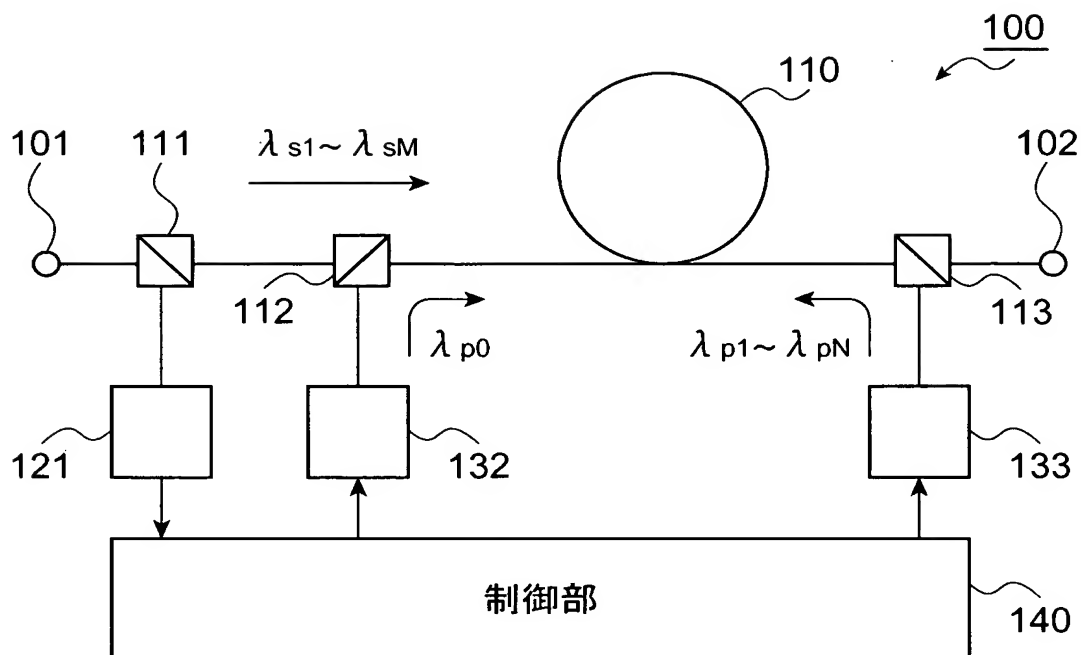
本実施形態に係る光通信システム 1 の構成図である。

【符号の説明】

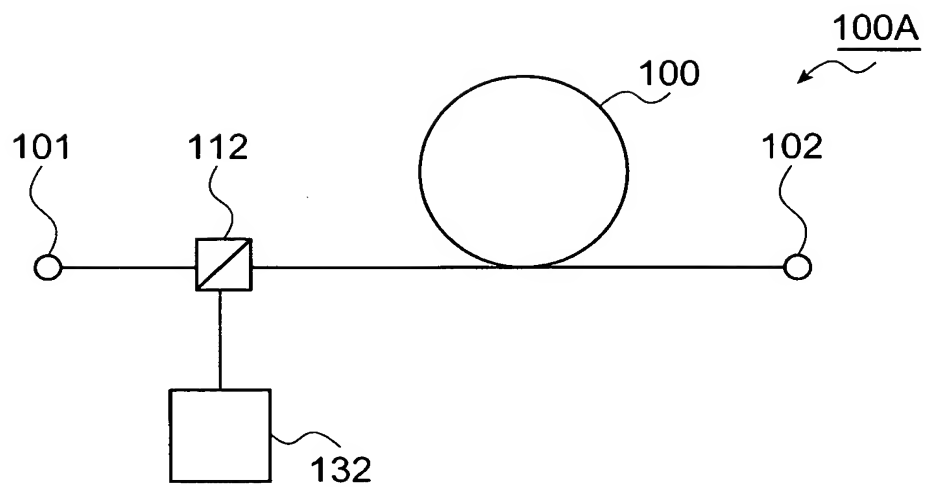
1…光通信システム、1 0…光送信装置、2 0…光中継装置、3 0…光受信装置、4 1～4 4…光ファイバ伝送路、1 0 0…ラマンアンプ、1 1 1～1 1 3…光カプラ、1 2 1…モニタ部、1 3 2, 1 3 3…励起光源、1 4 0…制御部、2 0 0…ラマンアンプ、2 1 1～2 1 3…光カプラ、2 2 1…モニタ部、2 3 2, 2 3 3…励起光源、2 4 0…制御部、2 5 0…光伝送路、3 0 0…ラマンアンプ、3 1 1～3 1 4…光カプラ、3 2 1…モニタ部、3 3 2, 3 3 3…励起光源、3 3 4…模擬信号光源、3 4 0…制御部、3 5 0…光伝送路。

【書類名】 図面

【図 1】

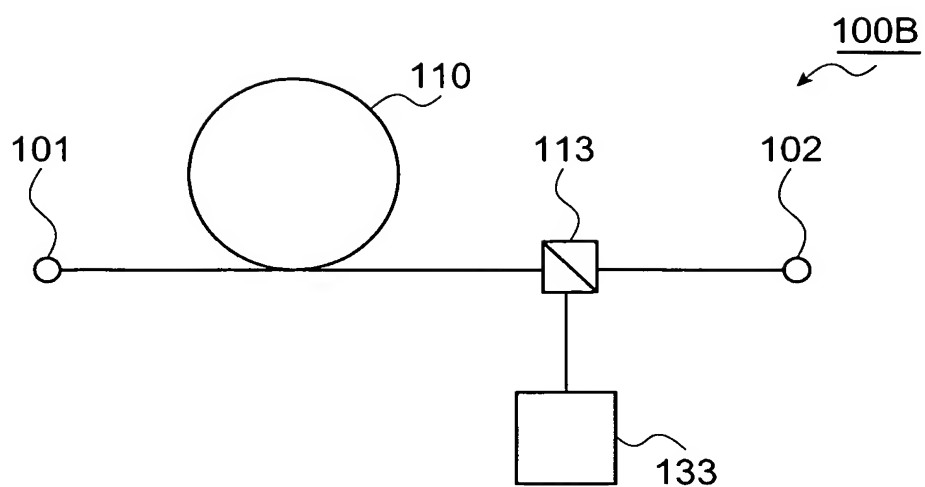


【図 2】

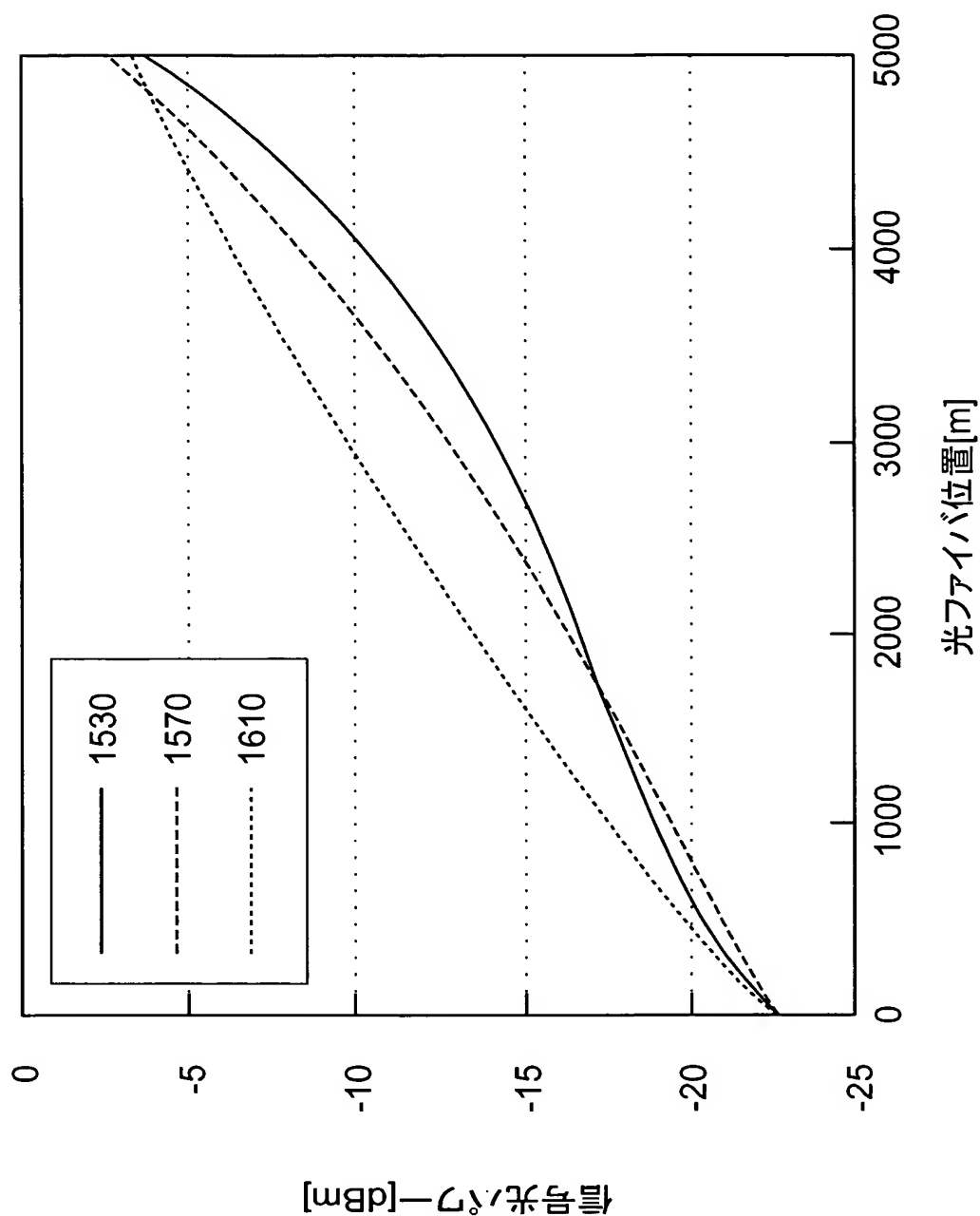




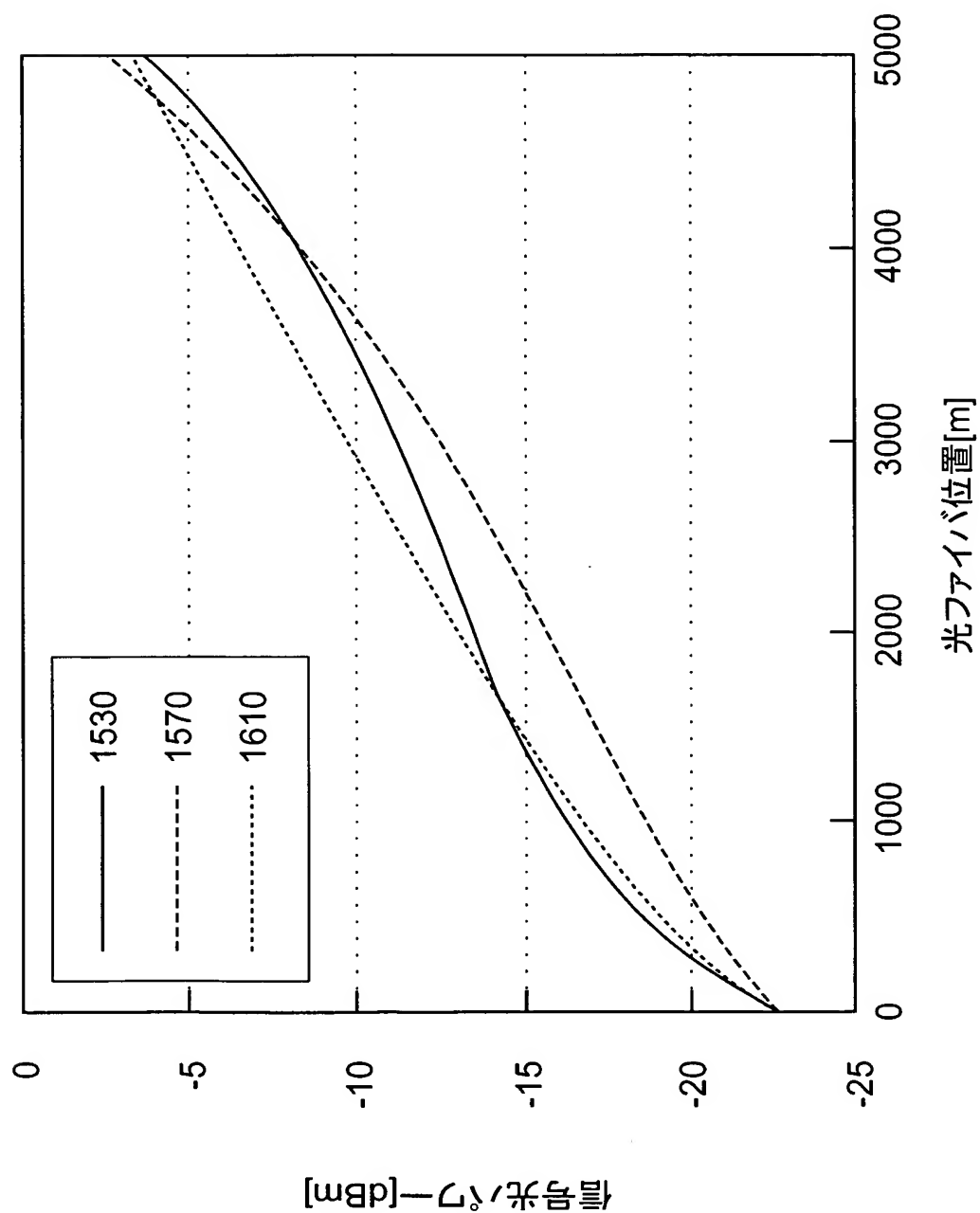
【図 3】



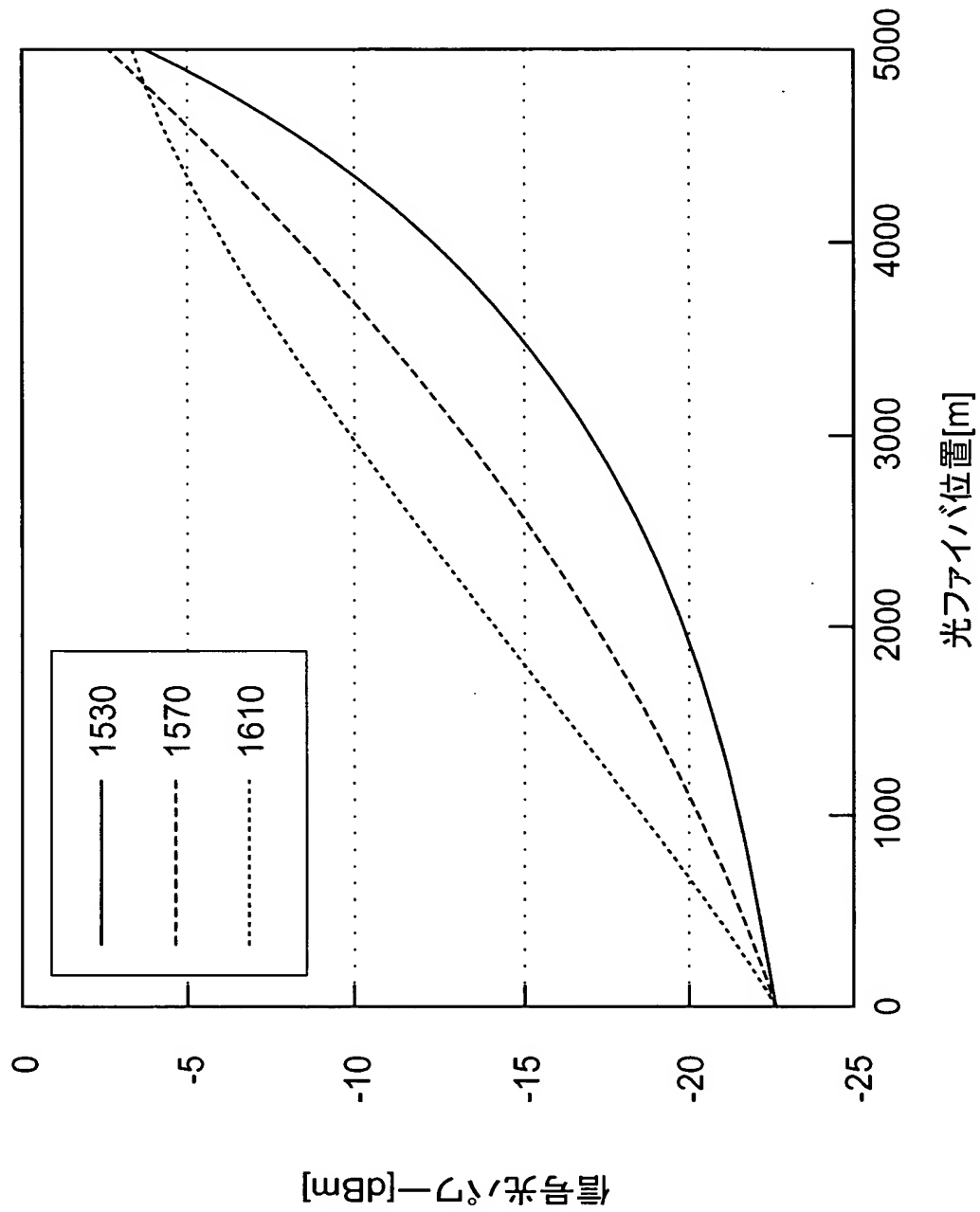
【図 4】



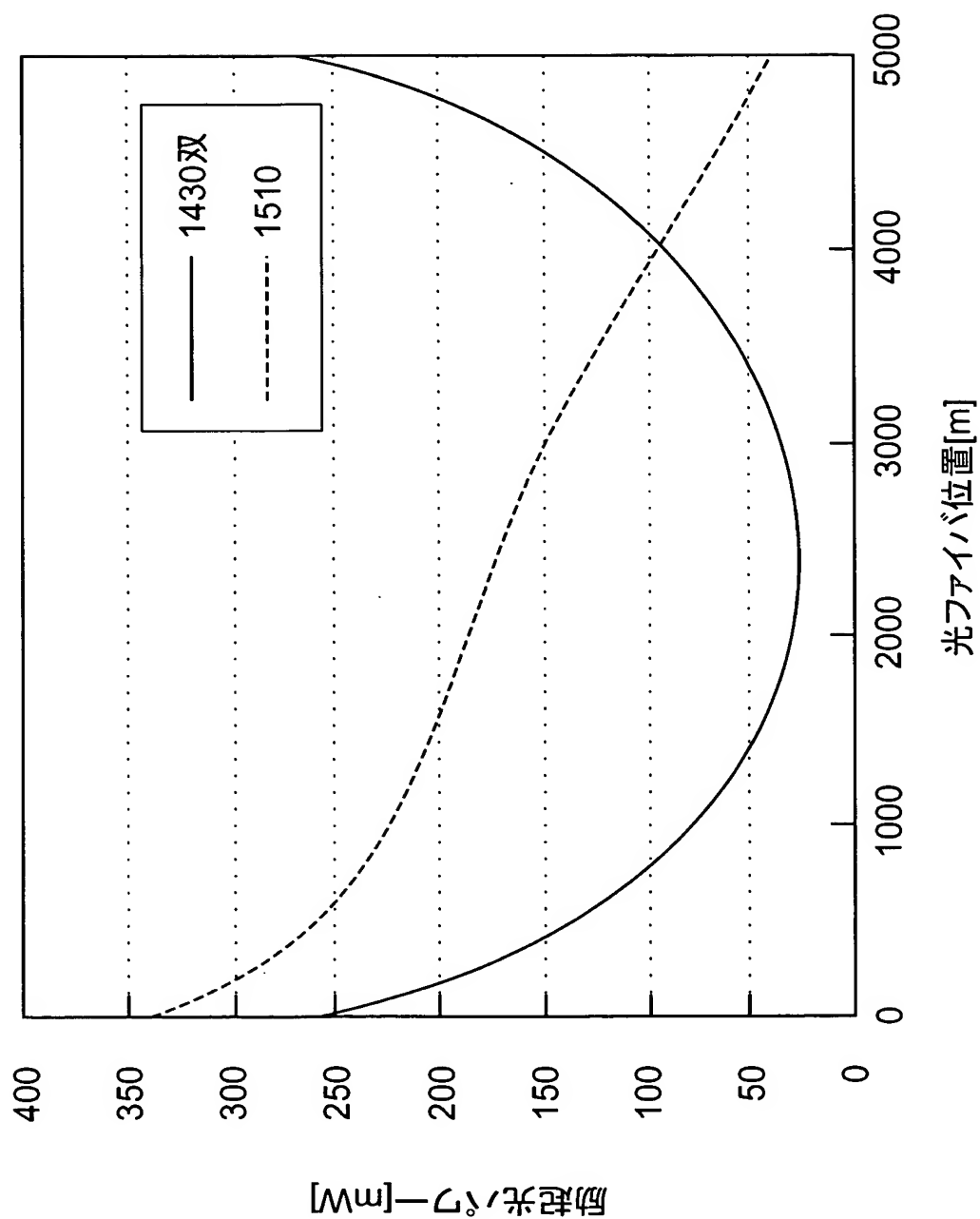
【図 5】



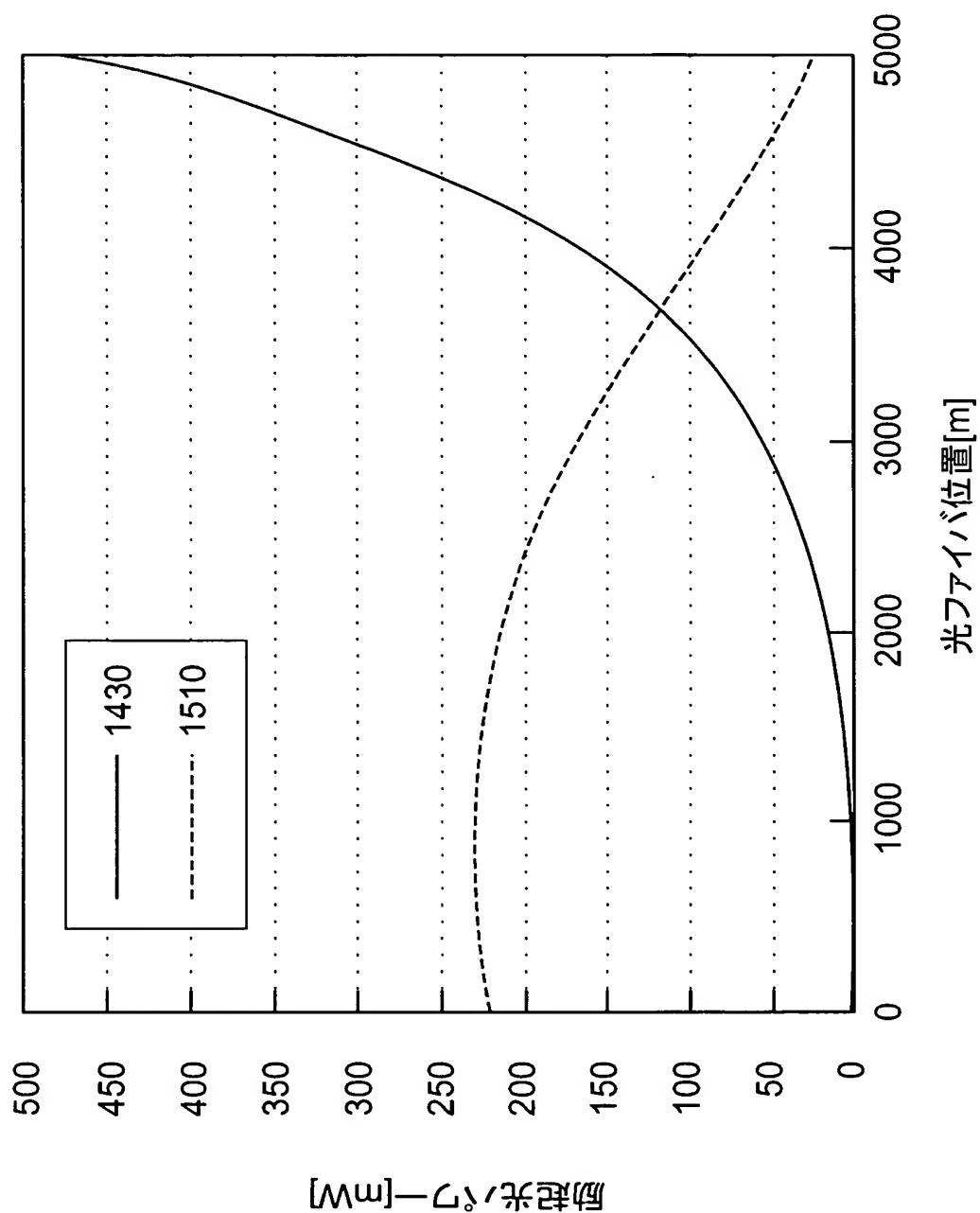
【図 6】



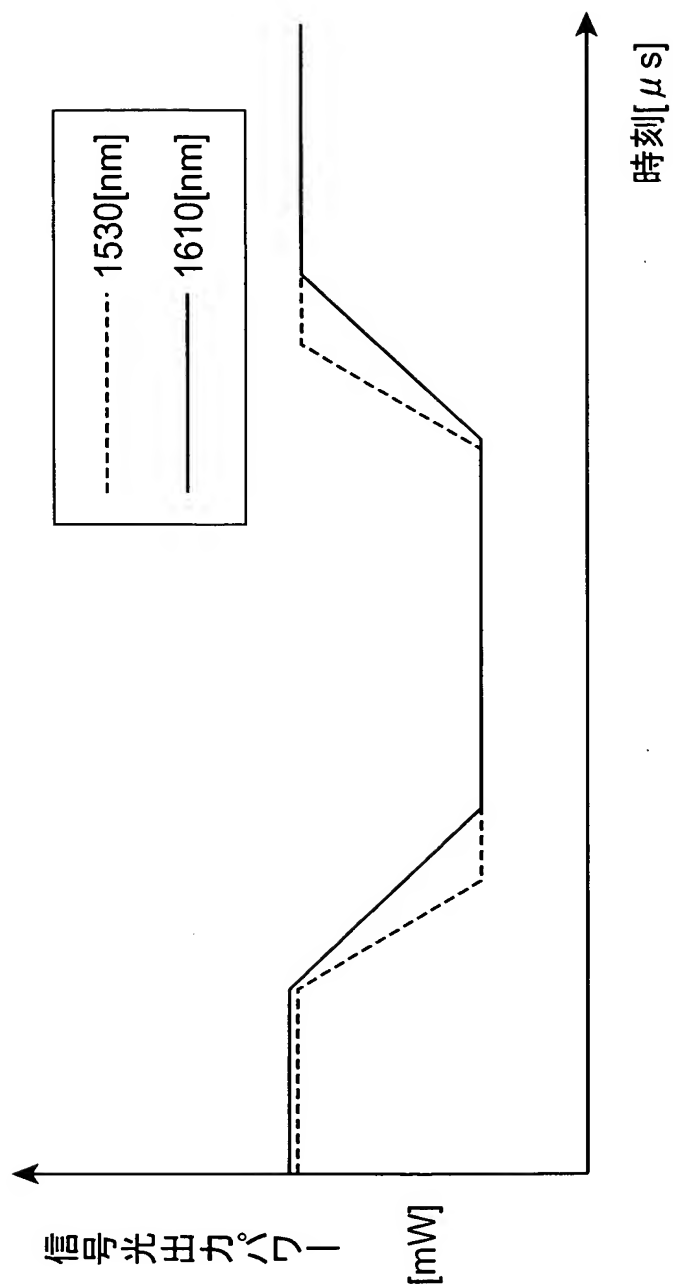
【図 7】



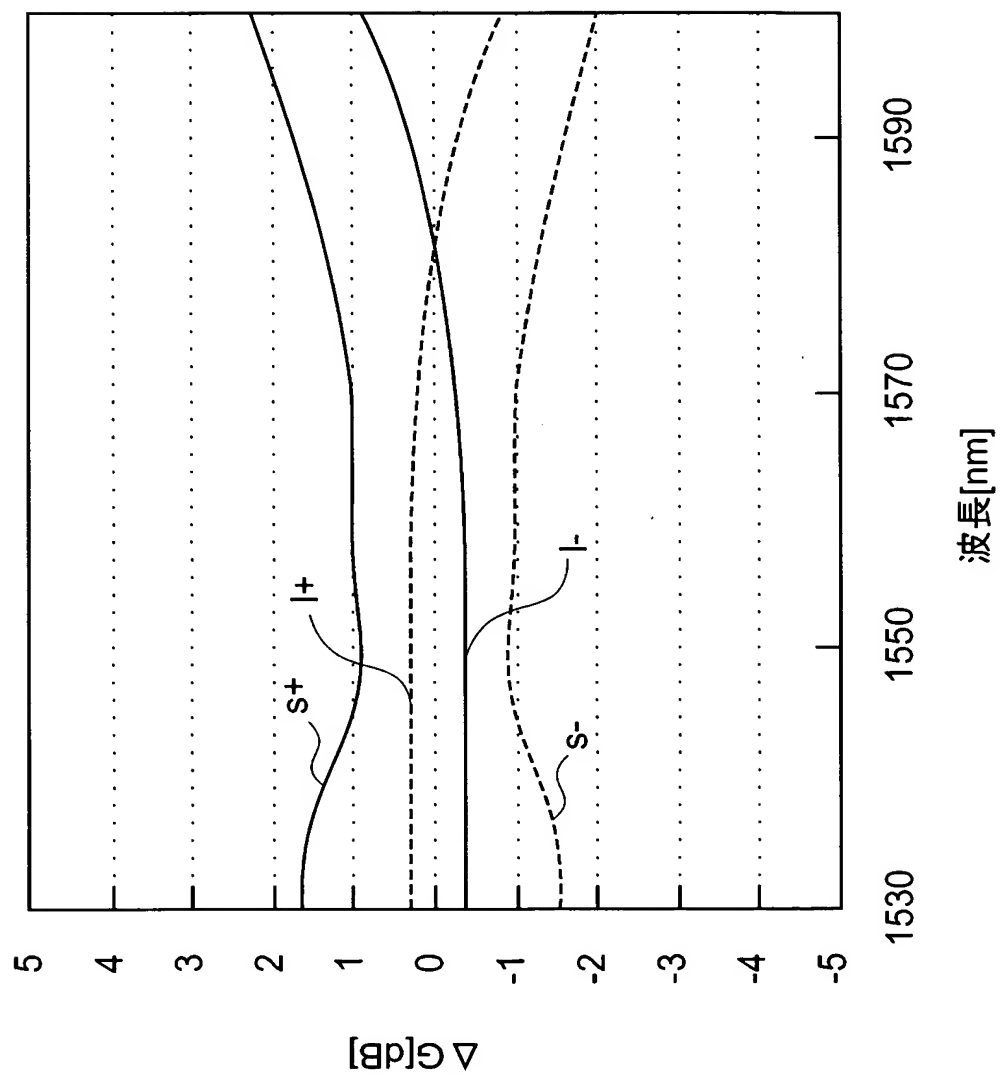
【図 8】



【図 9】

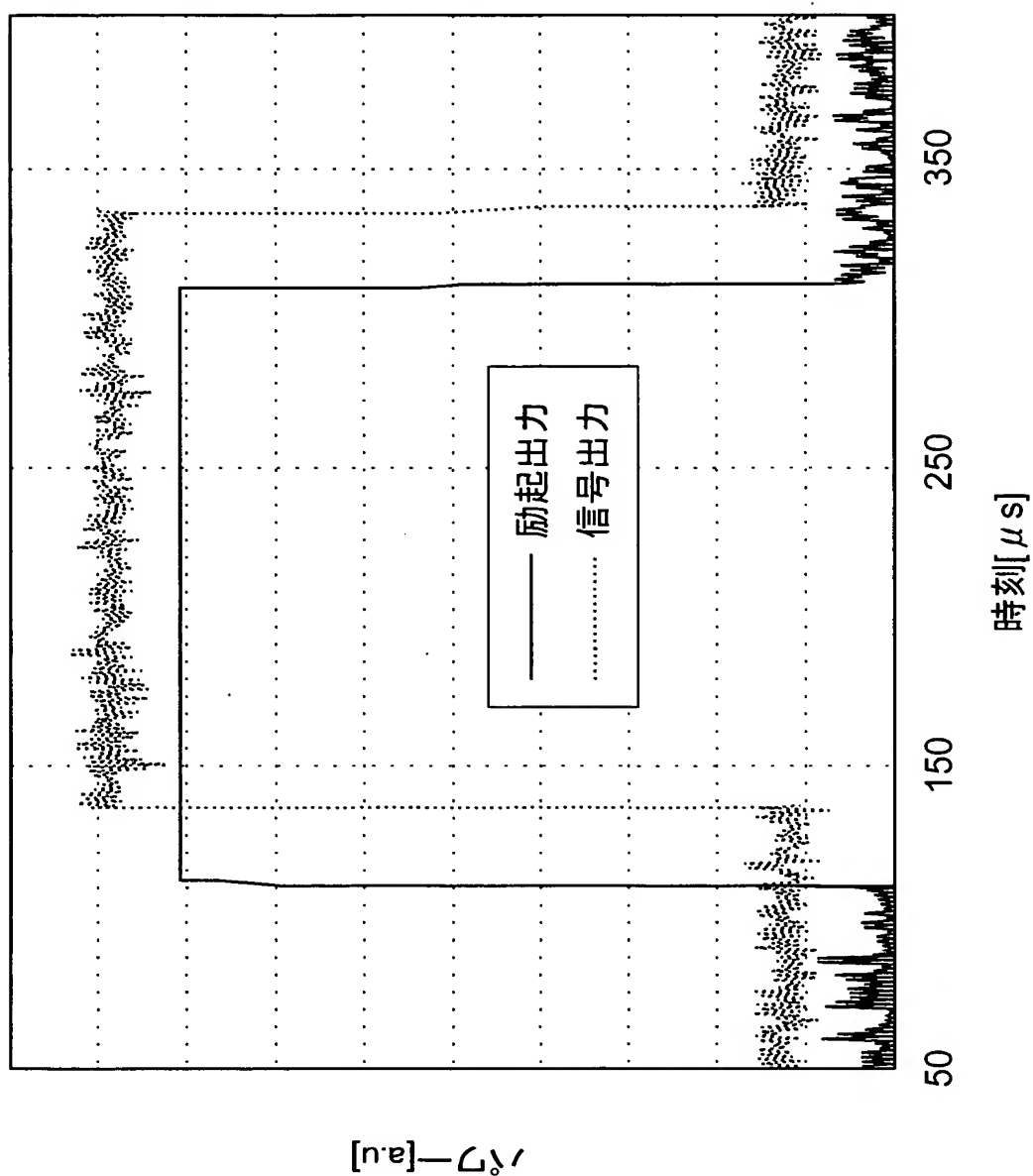


【図 10】

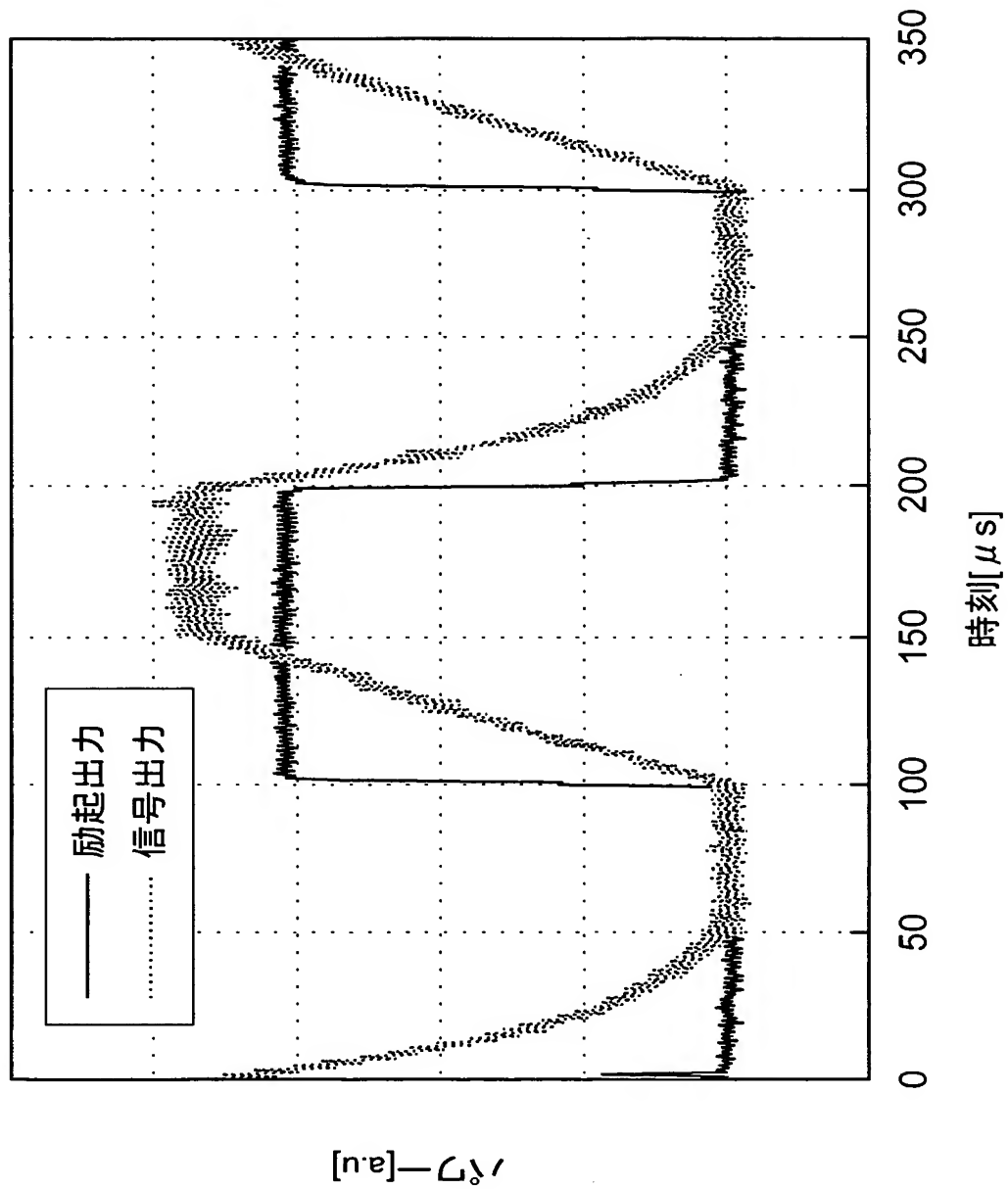




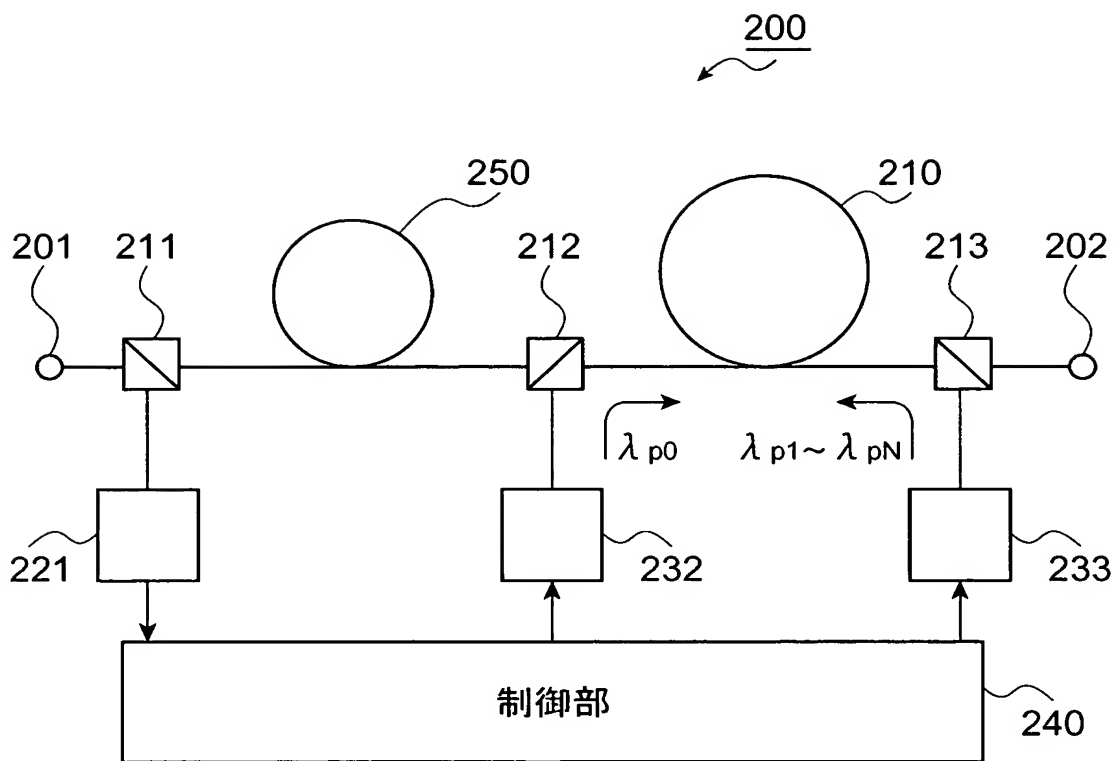
【図 11】



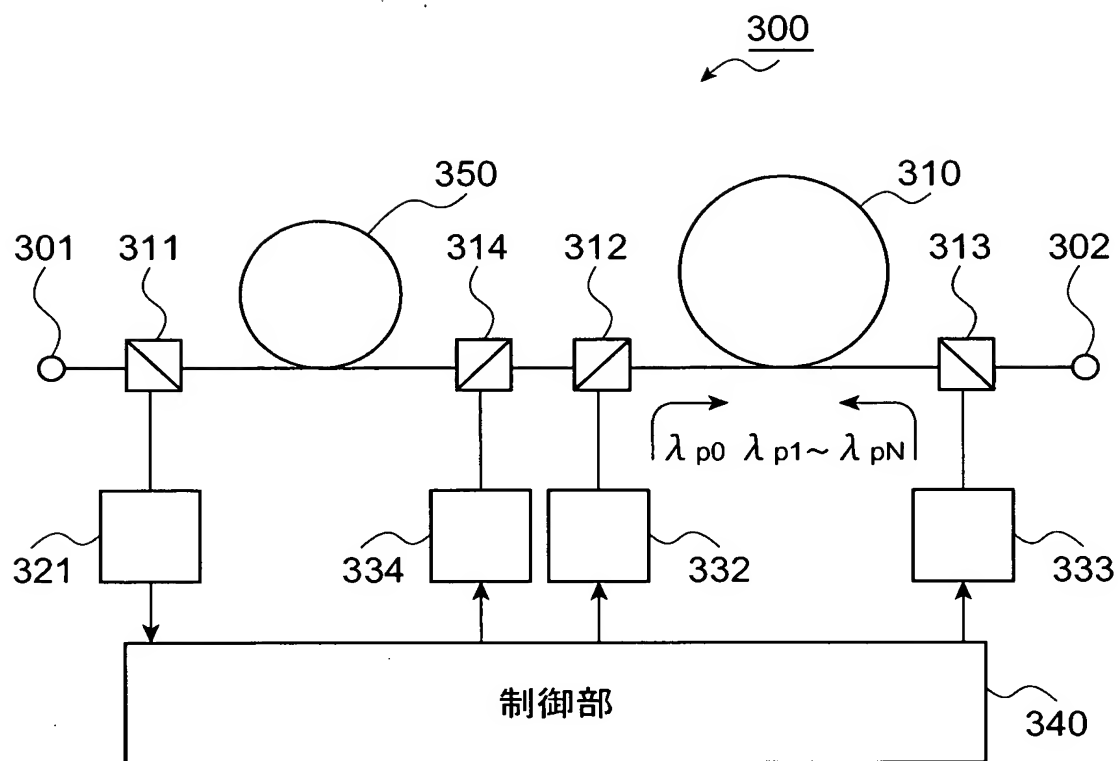
【図 12】



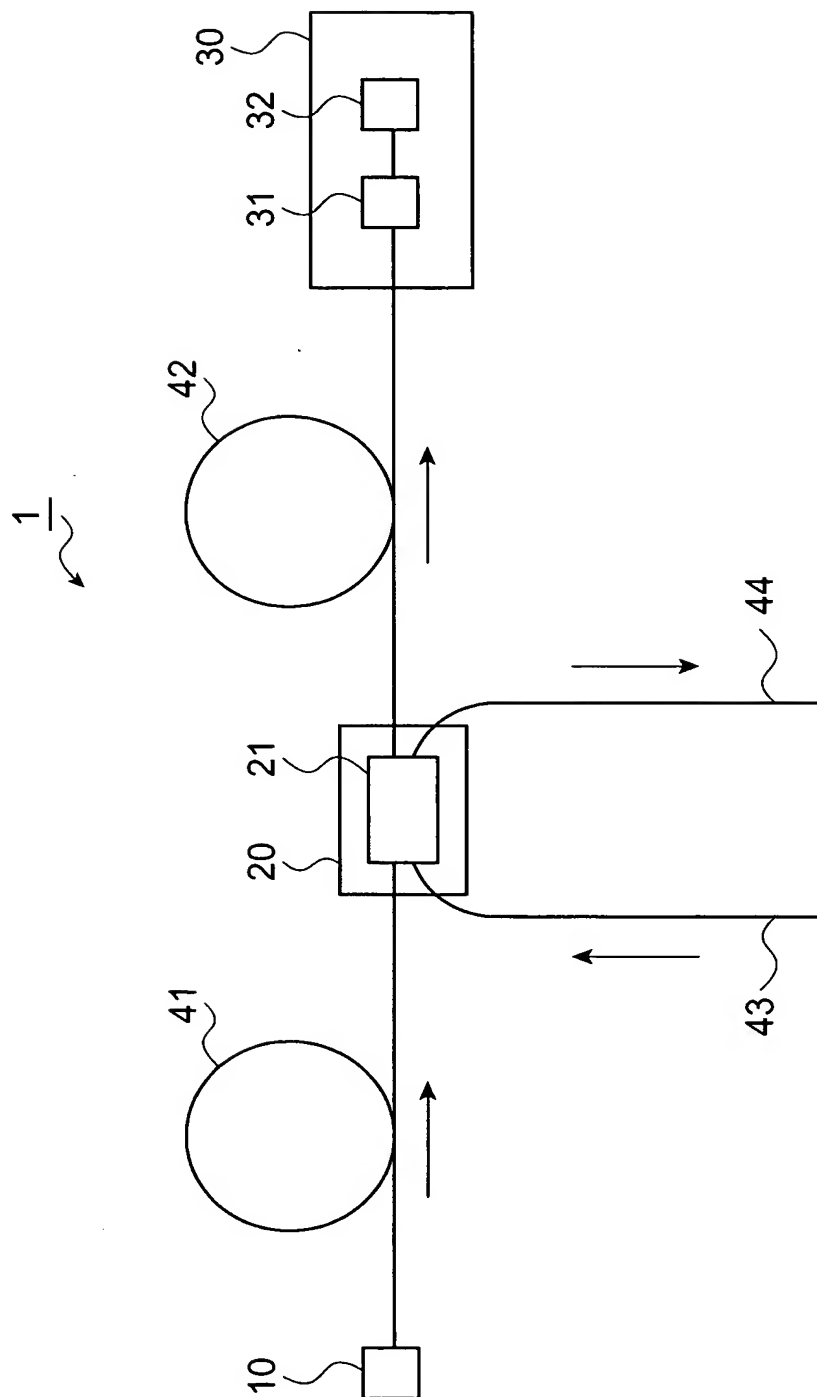
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 増減設される信号光波長に依らず容易に過渡応答特性を改善することができるラマンアンプを提供する。

【解決手段】 励起光源 132 は、波長  $\lambda_{p0}$  の励起光を前方から光ファイバ 110 に供給する。励起光源 133 は、N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  (N は 2 以上の整数) の励起光後方から光ファイバ 110 に供給する。前方から光ファイバ 110 に供給される励起光の波長  $\lambda_{p0}$  は、後方から光ファイバ 110 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のうちの最短波長以下である。後方から光ファイバ 110 に供給される N 波長  $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pN}$  の励起光の各波長において、光ファイバ 110 の実効長  $L_{eff}$  は、光ファイバ 110 の実際の長さ L より長くなるように、励起光源 132, 133 から光ファイバ 110 に供給される波長  $\lambda_{p0} \sim \lambda_{pN}$  の励起光のパワーが設定されている。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 3 0 7 9 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 2 1 3 0 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号
氏 名	住友電気工業株式会社